

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СИЛОВЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ АППАРАТОВ

Рассматривается общая идеология технической реализации системы управления силовых электронных аппаратов. Приводится описание и параметры основных компонентов электрических аппаратов, сочетающих элементы цифровой и аналоговой техники.

Ключевые слова: силовой электронный аппарат, система управления, датчик, блок обработки информации, формирователь импульсов управления, обмен информацией.

В силовых электронных аппаратах и других устройствах принято различать силовую часть и систему управления (СУ). К *силовой части* относятся электрические цепи и элементы, которые непосредственно участвуют в передаче электрической энергии от первичного источника к потребителю. Иногда эти цепи совместно с силовыми элементами называются *главными*, так как они определяют основные технико-экономические показатели устройства и, в первую очередь, его КПД. Силовая часть аппарата по существу является силовым исполнительным органом, определяющим главные функции аппарата. Например, силовая часть типового тиристорного реле постоянного тока состоит из одного тиристора и электрических соединений, обеспечивающих его связь с коммутируемой электрической цепью [1, С. 134–137].

Учитывая определяющее влияние силовой части на технико-экономические характеристики устройства в целом, её изучению уделяется обычно основное внимание. Однако для функционирования силовых элементов схемы: транзисторов, тиристоров и других, необходимо подавать на них соответствующие сигналы управления. Эти сигналы формируются другой составной частью устройства — системой управления. В отличие от силовой части, СУ в основном принимает, обрабатывает и выдаёт информацию. Поэтому СУ состоит, как правило, из элементов и функциональных узлов, связанных с информационными потоками. При этом уровень потребляемой энергии обычно стремятся по возможности минимизировать.

Система управления силового электронного устройства обычно выполняет следующие функции:

- формирование сигналов управления силовыми элементами;
- регулирование выходных параметров силовой части;
- включение и отключение по заданному алгоритму основных узлов силовой части;
- обмен информацией с внешней средой.

К системе управления относятся также элементы и узлы, обеспечивающие текущий контроль состояния устройства в целом, диагностику отказов и управление защитными устройствами.

На рис. 1 приведена обобщённая структура системы управления. В структуре выделены некоторые функциональные блоки, характерные для СУ силовых электронных устройств.

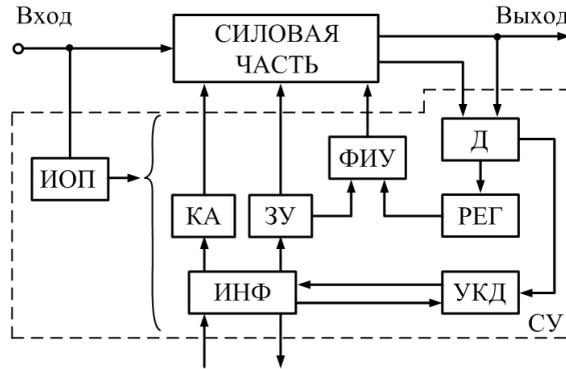


Рис. 1. Обобщённая структурная схема СУ аппарата

Блок датчиков Д содержит датчики регулируемых и контролируемых параметров. Так как обычно регулируются выходные параметры, то часть датчиков непосредственно входит в обратную связь канала регулирования. Сигналы с этих датчиков поступают на регулятор РЕГ, в функции которого входит формирование закона управления элементами силовой части. Блок формирователей импульсов управления ФИУ компонует необходимые по форме, амплитуде и длительности импульсы управления, непосредственно поступающие на силовые элементы. По существу ФИУ является согласующим устройством между входами силовых приборов и выходом регулятора, поскольку выходные сигналы регулятора обычно являются маломощными и не отвечают требованиям, предъявляемым к импульсам управления силовых приборов (тиристоров, транзисторов и др.). Блок ФИУ называют также «драйвером» (англ. drive — водить).

Узлы СУ выполняются на различной элементной базе: дискретные и интегральные электронные компоненты, электромагнитные реле и др. Для функционирования этих элементов требуются источники электропитания часто с различными параметрами. В составе структуры имеется блок вторичных источников питания для собственных нужд, называемых также источниками оперативного питания ИОП. В ИОП используются различные виды преобразователей и регуляторов, согласующих параметры входного (иногда и выходного) напряжения силовых цепей с параметрами, требуемыми для питания элементов СУ.

При питании от сети переменного тока основой ИОП обычно служат маломощные трансформаторы с несколькими вторичными обмотками на разные напряжения. Эти обмотки подключаются к выпрямителям с выходными, обычно ёмкостными, фильтрами.

Для стабилизации уровней выходных напряжений маломощных выпрямителей используют стабилитроны или транзисторные регуляторы непрерывного действия в дискретном или интегральном исполнениях. В целях улучшения массогаба-

ритных показателей получила распространение структура ИОП с бестрансформаторным входом. В этой структуре переменное напряжение силовой цепи непосредственно поступает на выпрямитель, выходное напряжение которого преобразуется инвертором в переменное напряжение повышенной частоты (обычно 20 кГц). Затем это напряжение трансформируется, снова выпрямляется и фильтруется. Трансформация и фильтрация при повышенных частотах позволяют существенно уменьшить массу и габаритные размеры ИОП.

При питании ИОП от силовых цепей постоянного тока постоянное напряжение также инвертируется на повышенной частоте в переменное, затем трансформируется, выпрямляется и фильтруется.

Текущий контроль и диагностика осуществляется устройством контроля и диагностики УКД, на вход которого поступают сигналы с датчиков контролируемых параметров.

Результаты контроля и диагностики поступают на блок обработки информации ИНФ, и затем с его выхода — на защитные устройства ЗУ. Блок ИНФ также в общем случае может связывать всё устройство с внешней средой. Например, в него могут поступать сигналы команд на включение, выключение, изменение режима работы. Обычно эти сигналы обрабатываются или транслируются непосредственно в блок коммутационной аппаратуры КА. С другой стороны, из блока обработки информации могут исходить сигналы о состоянии устройства, режиме его работы, информация о причине отключения или срабатывания защит и др.

Представленная на рис. 1 структура является обобщённой. В ней отражены характерные укрупненные функциональные блоки. В реальном аппарате значительная часть из них может отсутствовать или находиться в неявном конструктивном или функциональном виде. Обмен с внешней средой может осуществляться посредством тумблеров или кнопок, а о состоянии аппарата будут давать информацию обыкновенные сигнальные лампы накаливания. Однако для того чтобы чётко представлять принцип действия аппарата, его функции и возможности, необходимо иметь представление о структуре и функциональных узлах. При этом функциональный блок или узел не обязательно имеет отдельную конструкцию в виде отдельной платы, модуля и др.

Так как силовые электронные аппараты обычно выполняются на электронных ключах, по принципу действия их СУ являются дискретными или импульсными. Соответственно элементная база СУ часто сочетает элементы как цифровой, так и аналоговой техники, которая обрабатывает непрерывные сигналы, например тока или напряжения. Эти сигналы затем снова могут преобразовываться в импульсную форму.

Большинство силовых электронных аппаратов по принципу управления являются импульсными системами. Такое определение вытекает из импульсного характера функционирования основных элементов силовой части устройства — тиристоров, транзисторов и др.

Теория импульсных систем получила развитие в основном применительно к информационным системам. Многие положения этой теории оказались справедливыми и для импульсных энергетических систем, к которым следует отнести боль-

шинство силовых электронных устройств. При их рассмотрении широко используются термины и определения, сформулированные значительно раньше, чем появились системы импульсного преобразования энергии.

В импульсных энергетических системах применяются элементы с дискретно изменяемыми параметрами, например, проводимостью (сопротивлением). Кроме того, такие системы содержат также и непрерывную, обычно линейную часть, например, фильтр, нагрузку и др. В электронных аппаратах импульсными элементами с дискретно изменяемым состоянием проводимости (сопротивления) являются электронные ключи. Периодическое изменение состояния ключей аналогично во многом квантованию сигналов информационных систем по уровню или времени. Квантование происходит дискретно в определенные моменты времени и по определенным законам, характеризующим преобразование непрерывных сигналов в импульсные. При анализе импульсных информационных систем эти законы называют *законами модуляции*. Такая же терминология в основном сохранилась и для энергетических импульсных систем, в которых различают следующие основные виды модуляций:

- амплитудно-импульсную (АИМ);
- широтно-импульсную (ШИМ);
- частотно-импульсную (ЧИМ).

Существуют и другие способы модуляции, сочетающие различные виды. Особо надо отметить широко применяющиеся релейные системы с квантованием по уровню. Этот вид импульсных систем может быть отнесён к разновидности импульсных систем, сочетающих ШИМ и ЧИМ.

Способы модуляции в энергетических импульсных системах, в отличие от информационных, обычно используются для реализации относительно простых функций, например обеспечения постоянного значения выходного параметра, изменения его в соответствии с синусоидальной или линейной функцией и др.

Управление биполярными транзисторами. *Формирователями импульсов управления* (ФИУ) называется особый класс усилителей, предназначенных для усиления информационного сигнала управления до сигнала с параметрами, необходимыми для гарантированного включения и выключения полупроводникового ключа. Помимо требований к мощности сигнала управления ключом, часто предъявляются требования к форме сигнала, поэтому иногда ФИУ называют *усилителем-формирователем импульсов управления*. Схемотехника ФИУ в первую очередь зависит от типа управляемого прибора. Особенности схемотехники ФИУ определяются статическими и динамическими свойствами соответствующего типа прибора [2, С. 63–67].

Основными требованиями, предъявляемыми к ключу на биполярном транзисторе, являются гарантированное насыщение транзистора током базы, обеспечивающее беспрепятственное протекание тока коллектора на интервале, когда транзистор должен быть включён, и снижения тока утечки на интервале, когда транзистор должен быть выключен. Идеальная форма базового тока i_B и напряжения база-эмиттер U_{BE} биполярного транзистора представлены на рис. 2.

При реализации такого импульса необходимо учитывать следующее:

- повышенная амплитуда тока базы при включении обеспечивает снижение времени задержки на включение;
- биполярный транзистор включается током, поэтому ФИУ должен соответствовать источнику тока, а не источнику напряжения (это приводит к снижению потерь на управление);
- после включения ток базы снижается, в результате чего накопленный в базе заряд уменьшается (это приводит к снижению времени для следующего выключения);
- импульс обратного тока базы при выключении приводит к более быстрому спаду тока коллектора i_C , т. е. к более быстрому выключению;
- после выключения обратное напряжение база-эмиттер U_{BE} обеспечивает повышение допустимого напряжения коллектор-эмиттер U_{CE} и снижает ток утечки транзистора.

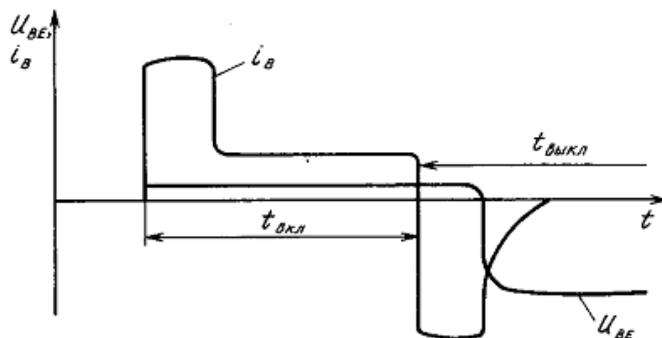


Рис. 2. Идеальный импульс управления биполярным транзистором

На практике необязательно осуществлять такое сложное управление, требующее дополнительных устройств в целях ФИУ. Требования к сигналу управления определяются требованиями к быстродействию ключа (рабочая частота коммутаций) и к потерям в нём. Проблема в создании ФИУ биполярных транзисторов состоит ещё и в том, что не всегда возможно соединение «земли» системы управления и эмиттера транзистора. Часто нагрузка подключается к эмиттеру транзистора (рис. 3). В этом случае необходимость гальванической развязки между цепями системы управления и силовой схемой является обязательной функцией ФИУ.

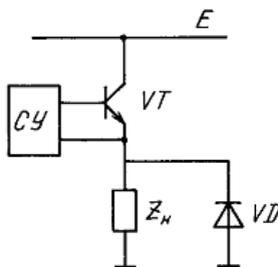


Рис. 3. Схема включения нагрузки транзистора в цепь эмиттера

Типовая схема формирователя импульсов управления (ФИУ) биполярного транзистора представлена на рис. 4, а.

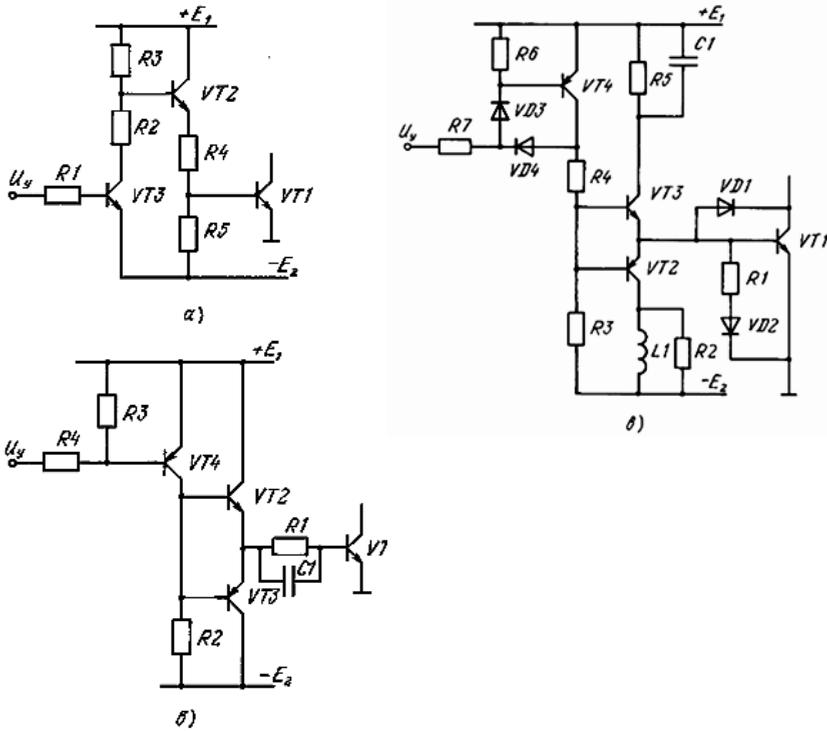


Рис. 4. ФИУ биполярного транзистора

А — схема транзисторного усилителя; *б* — схема на парных транзисторах; *в* — схема, контролирующая время включения и выключения

В схеме реализован усилительный каскад с двумя дополнительными транзисторами для увеличения маломощного сигнала микросхемы до необходимого значения и источником отрицательного напряжения для создания в моменты паузы (когда ключ выключен) отрицательного смещения. Это способствует более полному и более надёжному запирающему транзистора. Для уменьшения потребляемой ФИУ мощности применяют парные (комплементарные) транзисторы *VT2*, *VT3* работающие попеременно (рис. 4, б). Когда импульс управления отсутствует ($U_{упр} = 0$), транзистор *VT4* открыт, и через его коллектор протекает отпирающий ток базы *VT2*. Силовой транзистор *VT1* открывается усиленным током коллектора транзистора *VT2*. Транзистор *VT3* при этом, заперт, так как его эмиттер имеет отрицательный потенциал относительно базы. Через конденсатор *C1* проходит ток базы силового транзистора, обеспечивая бросок тока для его быстрого включения. В момент поступления импульса от микросхемы управления транзисторы *VT4* и *VT2* закрываются, а транзистор *VT3* включается напряжением конденсатора *C1*, который разряжаясь, обеспечивает запирающий базовый ток силового транзистора.

Реально схемы ФИУ биполярных транзисторов могут быть более сложными и обеспечивать условия контроля скорости включения и выключения силовых транзисторов (рис. 4, в).

Управление тиристорами. Схема управления тиристором подаёт на его управляющий электрод импульсы только на включение. Подача импульса должна происходить тогда, когда напряжение анод-катод тиристора положительно, в противном случае включение не произойдет. Идеальный импульс на включение (рис. 5) должен иметь большую скорость нарастания тока при включении и повышенную амплитуду в начальный момент, что ускоряет процесс включения и снижает вероятность выхода его из строя из-за повышенной скорости нарастания анодного тока di_A/dt .

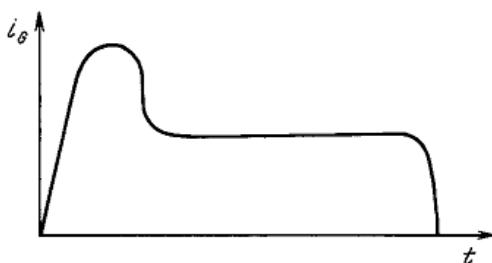


Рис. 5. Форма идеального импульса управления тиристором

Типовая схема управления тиристором, использующая импульсный трансформатор, представлена на рис. 6. Диод $VD1$ обеспечивает перемагничивание трансформатора T и предотвращает перенапряжение на транзисторе $VT1$. Резистор $R1$ ограничивает ток управляющего электрода тиристора $VS1$ и одновременно ток коллектора транзистора $VT1$. Резистор $R2$ ограничивает ток управляющего электрода тиристора, а диод $VD2$ предотвращает появление отрицательного напряжения на управляющем электроде тиристора $VS1$.

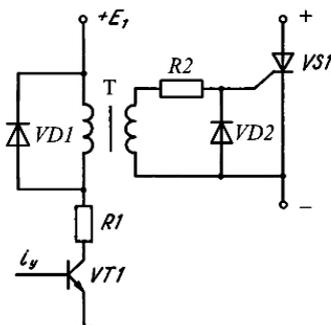


Рис. 6. ФИУ обычного силового тиристора

Запираемый тиристор выключается импульсом отрицательного тока управляющего электрода. Схема драйвера для двухоперационного тиристора значительно-

но сложнее, чем для однооперационного, и по топологии близка к схемам ФИУ биполярного транзистора (рис. 7).

Импульс управления U_y положительной полярности через диод $VD1$ ($VD2$ в это время закрыт) открывает транзисторы $VT1$ и $VT2$, что приводит к подаче импульса положительной полярности на управляющий электрод $VS1$ и его включению, т. е. переходу в проводящее состояние.

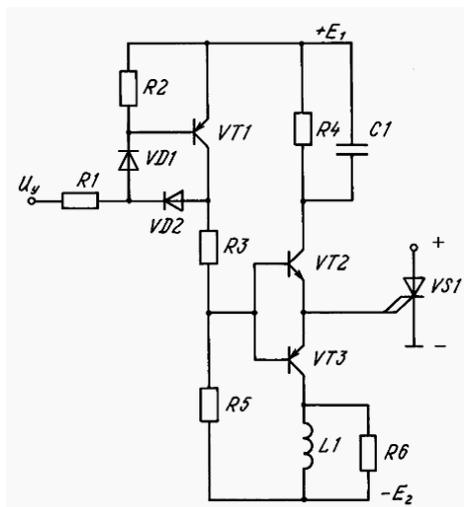


Рис. 7. ФИУ силового запираемого тиристора

Импульс управления U_y отрицательной полярности через диод $VD2$ ($VD1$ в это время закрыт) открывает транзистор $VT3$, что приводит к подаче импульса отрицательной полярности на управляющий электрод $VS1$ и его выключению, т. е. переходу в непроводящее состояние.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Расчёт и практическая реализация схемных решений систем управления (СУ) силовых электронных аппаратов представляет сложную инженерно-техническую задачу, успешная реализация которой позволяет выполнить следующие функции управления:

1. Формирование сигналов управления со строго заданными времятоковыми характеристиками, что позволит осуществить оптимальное регулирование выходных параметров силовой части.
2. Осуществление включения и отключения основных узлов силовой части по заданному алгоритму, который может изменяться как аппаратными, так и программными средствами.
3. Реализация обмена информацией с внешней средой при обязательном условии самотестирования электротехнического оборудования и сохранении результатов в базу данных.

Литература

1. Электрические и электронные аппараты. В 2 т. Т 2. Силовые электронные аппараты: учебник для студентов высших учебных заведений. Под ред. Ю. К. Розанова. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 320 с.
2. Марков А. М. Электрические и электронные аппараты: учебное пособие. Часть II. Силовые электронные аппараты / А. М. Марков. Псков: Издательство ПсковГУ, 2013. 128 с.

Об авторе(ах)

Марков Александр Михайлович — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электропривод и системы автоматизации», электромеханический факультет, Псковский государственный университет, Россия.

A. M. Markov

MANAGERIAL SYSTEM POWER ELECTRONIC DEVICES

It is considered general ideology to technical realization managerial system power electronic devices. Happens to the description and parameters main component electric device, combining elements digital and analog technology.

Key words: *power electronic device, managerial system, sensor, block information handling, shaper pulse control, exchange by information.*

About the author(s)

Markov Alexander Mikhaylovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electric Drive and Systems of Automation, Faculty of Electromecanics, Pskov State University, Russia.